Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ) des Instituts
für Klinisch-theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE STRUKTUREN DES ZAHNHALTEAPPARATES MENSCHLICHER ZÄHNE

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Lutz-Georg Amlang
aus Berlin

1975

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ) des Instituts
für Klinisch-theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE STRUKTUREN DES ZAHNHALTEAPPARATES MENSCHLICHER ZÄHNE

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Lutz-Georg Amlang

aus Berlin

Referent: Professor Dr. Hans Lenz

Korreferent: Professor Dr. Hans-Joachim Merker

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 11. November 1975

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Druck: H. Franzen, Berlin ø 391 23 25

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATURÜBERSICHT	2
3.	MATERIAL UND METHODE	10
	3.1. Material	10
	3.2. Methode	10
4.	ERGEBNISSE	14
	4.1. Abbildungen	19
5.	DISKUSSION	30
6.	ZUSAMMENFASSUNG	41
7.	LITERATURVERZEICHNIS	43

1. E I N L E I T U N G

Die Parodontologie als ein wichtiges Arbeitsgebiet der Zahn-,Mund- und Kieferheilkunde hat in den letzten Jahren an Bedeutung stark zugenommen.
Die bisher gültigen Grundlagen zum Thema "Parodontium" basieren vorwiegend auf mit dem Lichtmikroskop durchgeführten histologischen Untersuchungen.
Wegen des begrenzten lichtoptischen Auflösungsvermögens konnten jedoch insbesondere die Feinstrukturen des Desmodonts nicht erfaßt werden.

Um die Strukturen und die Funktion des Zahnhalteapparates besser verstehen zu lernen,ist es Aufgabe der vorliegenden Arbeit,die ultrastrukturellen Bauelemente des Zahnhalteapparates darzustellen und vor allem die Mechanismen an seinen "Grenzflächen",dem Alveolarknochen und dem Zement aufzuzeigen.

2. L I T E R A T U R Ü B E R S I C H T

In der zahnärztlichen Literatur ist seit Jahrzehnten immer wieder der Versuch einer umfassenden Darstellung des Zahnhalteapparates gemacht worden.

Noch gegen Ende des vorigen Jahrhunderts wurden für den Zahnhalteapparat die verschiedensten Benennungen gebraucht.
So spricht Wedl (1881) von Zahnperiost und Boedecker (1899) von Pericement.

Die Bezeichnung "Parodontium" wurde 1908 von Wießner geprägt,fand jedoch lange keine Beachtung.
Weski (1921) erkannte die funktionellen Zusammenhänge und faßte die Gewebssysteme Gingiva,Zement,Periodontium und Alveolarfortsatz unter dem Begriff "Paradentium" zusammen.
Auch von den anderen Autoren wurde dieser Begriff des "funktionellen Systems" wegen der histologischen Einheit und der durch die verschiedenen Gewebegruppen gemeinsam erbrachten Leistungen anerkannt(Gottlieb 1921;Weski, Sicher 1925;Orban 1926;Weinmann 1927;Häupt-Lang 1927; Feneis 1949;Harndt 1950;Meyer 1951;Rohen 1957,1958; Schumacher-Schmidt 1972).

Weski war es auch,der 1924 die Arbeitsgemeinschaft für Paradentoseforschung e.V. Arpa gründete,die die Aufgabe hatte,zu einer Vereinheitlichung der Nomenklatur beizutragen und durch die erst 1953 der Begriff "Parodontium" als Bezeichnung für den Zahnhalteapparat festgelegt wurde.

Danach stellt der Zahnhalteapparat ein funktionelles Verankerungssystem dar,das den Zahn mit dem Alveolarknochen elastisch federnd verbindet.
Anatomisch handelt es sich dabei um eine Synarthrose, das ist eine gelenkige Verbindung zwischen dem Kieferknochen und dem Zahn im Sinne einer Fuge,wobei wegen des die Verbindung herstellenden bindegewebigen Bandapparates von einer Syndesmose gesprochen werden muß (Meyer 1951;Schumacher 1962;Schumacher-Schmidt 1972).

Entwicklungsgeschichtlich sind die Zähne und die parodontalen Gewebe die Bildungsprodukte zweier Keimblätter:Ektoderm und Mesoderm.

Während im Verlaufe der Zahnentwicklung aus dem Ektoderm der Zahnschmelz gebildet wird,entstehen aus dem mesodermalen Keimblatt Dentin,Pulpa,Zahnzement,Desmodont und knöcherne Alveolenwand.
Schon in einem Frühstadium der Zahnentwicklung,noch

während inneres und äußeres Schmelzepithel am unteren Rande der Schmelzglocke ineinander übergehen,verdichtet sich das den Zahnkeim umgebende Mesenchym zu einem derb bindegewebigen Mantel,dem Zahnsäckchen(Meyer 1951; Ritter 1969).
Aus dem Zahnsäckchen beginnt noch vor dem Durchbruch des Zahnes nach Entstehung der Wurzel die Bildung der parodontalen Gewebe(Schumacher/Schmidt).
Nach einer Darstellung Weidenreichs(1926) verknöchert die Innenschicht des Zahnsäckchens und wird zum Zement, die ebenfalls verknöcherte Außenschicht wird zur Alveolarwand,während die Mittelschicht als bindegewebiges Periodontium im eigentlichen Sinne bestehen bleibt.

Schumacher/Schmidt präzisieren diese Darstellung dahingehend,indem sie von einer inneren,lockeren und gefäßreichen Schicht des Zahnsäckchens sprechen,aus der die Zementoblasten hervorgehen und eine äußere,dichtere, vornehmlich aus Fibrillen bestehende Schicht beschreiben, aus der sich die alveoläre Knochenkompakta entwickelt.

Im Gegensatz zur Weidenreich'schen Ansicht,geben Schumacher/Schmidt an,daß der dento-alveoläre Faserapparat nicht aus dem Zahnsäckchen hervorgeht,sondern "durch neue Fasersysteme gebildet" wird,bleiben jedoch in ihren Ausführungen weitere Einzelheiten schuldig.

Walkhoff(1924) beschreibt die "Wurzelhaut" (Desmodont) als aus Bündeln von derbem Bindegewebe bestehend ohne elastische Fasern,zwischen denen zahlreich Nerven und Gefäße festzustellen sein sollen.
Fischer(1972)(ebenso Mathis 1948,Meyer 1951) bezeichnet diese kollagenen Bindegewebsfasern,die die eigentliche funktionelle Struktur des Desmodonts darstellen,als Sharpey'sche Fasern.
"Sie sind tauartig und zopfartig untereinander verwirkt und verflochten und leicht gewellt"(Mühlemann 1950/51).
Die Fasern verlaufen im Periodontalraum zwischen dem Alveolarknochen und dem Zement in vorwiegend schräger, apikaler Richtung.
Fischer bestätigt die schon von Walkhoff(1924) und von Harndt(1950) gemachten Aussagen,daß die Sharpey'schen Fasern keine elastischen Elemente enthalten.
Wenn dem in der Alveole "aufgehängten" Zahn dennoch eine gewisse Beweglichkeit möglich ist,so liegt dieses in der Anordnung der Faserbündel begründet,die in Ruhelage in Wellenlinien verlaufen sollen und bei Belastung gestreckt werden(Harndt 1950;Fischer 1972; Schumacher/Schmidt 1972).

Nach Wedl(1881) verlaufen die Gefäße im Periodontium teilweise sehr gewunden und sollen sogar Knäuel bilden,

die mit einer zarten,bindegewebigen Kapsel umhüllt in ihrem Aussehen an Nierenglomerula erinnern sollen. Diesen Gefäßbildungen wird die Fähigkeit zugesprochen, die während des Kauaktes auf den Zahn auftreffenden Kräfte "wie durch eine hydraulische Bremse" abzuschwächen (Harndt 1950;Fröhlich 1958;Fischer/Heyden 1964).

Fröhlich(1958) spricht von sogenannten Gefäßnervenlücken zwischen den Faserbündeln des Halteapparates, die sich während der funktionellen Beanspruchung ausbilden und in denen wohl die von Wedl schon beschriebenen Gefäßknäuel sich befinden sollen.
Seiner Meinung nach verdanken diese Gefäßnervenbündel ihre Ausprägung einem unter der funktionellen Beanspruchung des Parodontiums erfolgten Volumenwachstum der im noch nicht voll funktionsfähigen Halteapparat schon vereinzelt vorhandenen Gefäße.

Im Gegensatz dazu vertritt Mathis(1948),sich auf eine Untersuchung von Märk(1941) stützend,die Auffassung,daß diese Knäuelbildungen nicht spezifisch für den Periodontalraum seien.
Da sie "auch in der Gingiva und im Unterkiefer vorkommen",würden die Gefäßknäuel keine mechanische Funktion im oben beschriebenen Sinne ausüben,vielmehr werden

diese Gefäßbildungen von Märk(1941) und später auch von Fischer(1972) als Merkmal einer arteriovenösen Anastomose betrachtet.
Im übrigen erscheine es unmöglich,daß die beschriebenen zartwandigen Gefäßbildungen die bei Kau- und Artikulationsvorgängen auf den Zahn einwirkenden Kräfte bis zu 65 kp auszuhalten vermögen(Mathis 1948).

Gemeinsam mit den Gefäßen verlaufen,durch lockeres Bindegewebe zu Bündeln zusammengehalten,zwischen den Faserbündeln des Desmodonts markhaltige Nervenfasern, die sich zunehmend zu einzelnen markhaltigen Fasern aufgliedern,um dann marklos als freie Nervenendigungen in Form von knopfförmigen Verdickungen,als Schlingen oder Ringe oder als freie Nervenendteile in der Nähe des Zahnzementes zu endigen(Mathes 1948;Harndt 1950; Meyer 1951;Fischer 1972).

Während der Entwicklung und der Beschreibung der einzelnen Bestandteile des Parodontiums und ihrer Funktion von den zitierten Autoren relativ breiter Raum gelassen wird,finden sich über das Problem der Anheftung des Desmodonts am Zement einerseits und am Alveolarknochen andererseits keine oder nur unzureichende Angaben.

Bei Walkhoff (1924) fehlt jeder Hinweis zu diesem Themenkomplex.
Andere Autoren beschränken sich lediglich auf die Aussage,daß die wichtigste Aufgabe des Zementes die Verankerung der von der Alveolarwand entspringenden Sharpey'schen Fasern am Dentin sei(Mathis 1948; Orban 1963/65;Schumacher/Schmidt 1972),was in der Weise geschehe,daß "von Zellen des Periodontes das Zement zunächst als kalklose Zone aufgelagert (wird) und Fasern und Wurzelhaut eingebaut (werden)"(Harndt 1950).

Meyer(1951) beschreibt den Vorgang der Anheftung folgendermaßen:
zu Bündeln zusammengefaßte Fasern aus dem Zahnsäckchen treten an die Zahnoberfläche heran und lassen sich durch die von den Zementoblasten gebildete Zementgrundsubstanz "an die Wurzeloberfläche ankleben".
Die Verankerung der Sharpey'schen Fasern in der Alveolenkortikalis,in die sie "palisadenförmig" (Mühlemann 1950) einmünden,geschehe auf die gleiche wie schon beim Zement beschriebene Art und Weise.

Zwischen den Fasern beobachtet Fischer(1972) in großer Zahl lange,schlanke,sternförmige Bindegewebszellen mit großen,ovalen Kernen:
Fibroblasten,die an Faserneubildungen und an Umbauvorgängen beteiligt sind.

Faßt man die in der Literatur vertretenen Ansichten zusammen,ergibt sich folgendes:
Es wurde von den verschiedenen Autoren immer wieder versucht,aus den mit dem Lichtmikroskop dargestellten Strukturen des Parodontiums Rückschlüsse auf die Funktion des Zahnhalteapparates bzw. im Besonderen des Desmodonts zu ziehen.
Diese Ansichten stützen sich naturgemäß auf die bis dahin gewonnenen Kenntnisse.
Entsprechend den im lichtmikroskopischen Bereich erfaßbaren Strukturen standen bei derartigen Überlegungen Faserbündel,die man öfter als Ligamenta bezeichnete,im Mittelpunkt der Betrachtung.

In der vorliegenden Arbeit soll nicht wie im lichtmikroskopischen Sinne das gesamte Parodontium untersucht werden,sondern es soll der Versuch unternommen werden,die einzelnen ultrastrukturellen Bauelemente elektronenmikroskopisch aufzuzeigen.
Dabei soll besonderes Augenmerk auf die einzelnen,die Sharpey'schen Fasern bildenden Fibrillen gerichtet werden und zum anderen soll die Verbindung dieser Fibrillen zum Zement bzw. Alveolarknochen erhellt werden.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1. Material

Als Untersuchungsmaterial dienten Zähne von Patienten im Alter von 25 bis 65 Jahren.
Es handelt sich um einwurzlige und mehrwurzlige Zähne, an denen bei der Extraktion entweder ein Teil der buccalen Knochenlamelle oder ein Septumteil haften geblieben war.
Die Zähne wurden wegen tiefgreifender kariöser Defekte oder aus prothetischen Gründen extrahiert.

3.2. Methode

a. Glutaraldehyd-Osmium Fixierung

Die Zähne wurden unmittelbar nach der Extraktion in 5% iger Glutaraldehydlösung für mindestens sechs Stunden zur Fixierung im Kühlschrank aufbewahrt.
Im Anschluß daran wurden die Zähne mit physiologischer NaCl-Lösung gewaschen,um dann für mindestens 18 Stunden in ein Phosphatpuffergemisch eingelegt zu werden.
Danach erfolgte eine zweistündige Nachfixierung in OsO_4-Lösung.
Vor der stufenweisen Entwässerung der Zähne in einer Alkoholreihe mit aufsteigender Konzentration wurden

die Präparate noch einmal in physiologischer NaCl-Lösung gewaschen.

Die Entwässerung erfolgte nach folgendem Schema:

5 Minuten in 50% igem Alkohol
5 Minuten in 75% igem Alkohol
5 Minuten in 95% igem Alkohol
2 mal 10 Minuten in absolutem Alkohol
1 mal 30 Minuten in absolutem Alkohol

Daran anschließend wurden die Zähne dreimal 30 Minuten mit Styrol überspült und dann für eine Stunde in eine Mischung von Mikropal und Styrol im Verhältnis 1:1 eingebracht.
Für weitere 24 Stunden wurden die Präparate in reinem Mikropal bei Zimmertemperatur aufbewahrt.
Danach konnten die Präparate in mit Mikropal gefüllte Eiswürfelkästchen eingebettet werden.
Der Polymerisierungsvorgang dauerte im Trockenschrank bei 60° C 12-36 Stunden.

b. Herstellung der Dünnschnitte

Die Mikropalblöcke mit den eingeschlossenen Zähnen wurden mit einer Steinschneidemaschine in 0,6-0,8 mm dicke Scheiben geschnitten.

Diese Dünnschnitte wurden,nachdem sie passend gemacht worden waren,in Gelatinekapseln aufgestellt und wiederum in Mikropal eingebettet.

Die Polymerisation erfolgte wie schon vorher bei 60° C in 12-36 Stunden.

Nach Entfernung der Gelatinekapseln und dem Einspannen in einen Präparatehalter erfolgte die Anspitzung der Präparate.

Dies geschah in der Weise,daß die elektronenmikroskopisch zu untersuchenden Objektstellen in der Spitze einer stumpfwinkligen,vierseitigen Pyramide lagen.

Dazu stand eine Trimmvorrichtung der Firma C.Reichert, Austria zur Verfügung.

Von den derart angespitzten Präparaten wurden an einem LKB-Ultratome Type 4801 mit Diamantmessern Ultradünnschnitte von ca. 400 Å Stärke hergestellt,in 20% igem Alkohol aufgefangen und auf mit einem Formvarfilm beschichtete Kupfernetze aufgezogen.

Die anschließende elektronenmikroskopische Untersuchung der Ultradünnschnitte erfolgte an einem Elmiskop I A der Firma Siemens und Halske bei einer Strahlspannung von 80 KV.

c. Nachkontrastierung

Zur besseren Darstellung der organischen Materie wurden nahezu alle Präparate kollagenspezifisch mit Uranylacetat nachkontrastiert.

Dazu wurden die mit den zu untersuchenden Präparaten beschickten Kupfernetze 30 Minuten lang auf einen Tropfen einer Uranylacetatlösung gelegt und nach dem Herausnehmen mit 70% igem Alkohol und Aqua dest. abgespült.

Da durch die Nachkontrastierung mit Uranylacetat die Zahnhartsubstanzen teilweise entmineralisiert werden, erfolgte zunächst die elektronenmikroskopische Untersuchung aller Präparate ohne Kontrastierung.

4. E R G E B N I S S E

Aus der Vielzahl der bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Ultradünnschnitte entstandenen photographischen Aufnahmen wurden im Rahmen dieser Arbeit Aufnahmen ausgewählt,die einen Überblick über die typischen ultrastrukturellen Verhältnisse des Desmodonts und seiner Anheftung an den Grenzflächen ergaben.
Während in der auf lichtmikroskopischen Untersuchungen basierenden Literatur mehr das Parodontium als Ganzes im Vordergrund der Betrachtung stand,ist es bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen nicht möglich, in einem Schnitt den gesamten Periodontalspalt gleichzeitig mit den ihn begrenzenden Hartsubstanzen darzustellen.
Deswegen muß versucht werden,mit einzelnen mosaikartig zusammengefügten Aufnahmen eine Übersicht über das Parodontium und seine Strukturen zu schaffen.

Wie schon früher erwähnt,ist unter dem Begriff Parodontium die funktionelle Einheit aus Gingiva,Alveolarknochen,Desmodont und Zement zu verstehen.
Hier soll im Rahmen dieser Arbeit das Desmodont mit seinen Besonderheiten,wie es sich im elektronenmikroskopischen Bild darstellt,in den Mittelpunkt des Interesses gerückt werden.

Die Abbildung 1 stellt den Randbereich des Desmodonts in Zementnähe dar.
Die einzelnen Periodontalfasern sind zu unterschiedlich mächtigen Bündeln zusammengelagert.
Jedes Bündel zieht nahezu senkrecht auf die Zementoberfläche zu.
Mehr im Inneren des Desmodontalspaltes finden sich längs- und quergetroffene Faserbündel.
Inmitten des Periodontalspaltes in einer gewissen Entfernung von der Zementoberfläche sind gelegentlich in einem von Faserbündeln ausgesparten Raume mehrere unterschiedlich große Mineralisationsinseln zu beobachten.

Während die Randbezirke des Periodontalspaltes nahe dem Alveolarknochen bzw. Zement von zelligen Bestandteilen nahezu frei zu sein scheinen,finden sich im Zentrum des Desmodonts häufig langgestreckte,spindelförmige Zellen:Fibrozyten (Abb. 2),deren Zellausläufer bis in Zementnähe zu verfolgen sind.
Die Ausrichtung der Zellen im Desmodont entspricht der Verlaufsrichtung der Faserbündel.
Teilweise finden sich am Zellrand der Fibrozyten eingelagerte Mineralisationsinseln.

In der Literatur wird das Zahnzement in zwei Arten unterschieden:
das primäre oder Faserzement,das auf der gesamten Wurzel in einer sehr dünnen Schicht dem Dentin aufgelagert ist,und das sekundäre oder zellhaltige Zement, das vorwiegend im apikalen Drittel meist in mehreren Schichten auf das Faserzement aufgelagert ist.
Das Bild des Faserzementes ist geprägt durch annähernd parallel ausgerichtete faserartige Strukturen,die sich bei stärkerer Vergrößerung als aus einer Vielzahl von Kristallen bestehend erweisen(Abb. 3).

Ein gänzlich anderes Bild ergibt sich bei der Betrachtung des aus dem apikalen Drittel stammenden Appositionszementes(Abb. 4).
Deutlich sind die einzelnen gleichsam zu Zement erstarrten Fibrillenbündel zu erkennen, selbst die Querstreifung ist trotz des Mineralisationsvorganges erhalten geblieben.
Die Mineralisationsgrenze ist gekennzeichnet durch zackiges,ungleichmäßiges Aussehen.

Die Abbildung 5 veranschaulicht die "Befestigung" des Desmodonts am Zement.
Aus unterschiedlichen Richtungen,entsprechend dem Verlauf innerhalb des Desmodontalspaltes,ziehen die Fibrillen auf die hier glatt erscheinende Zementober-

fläche zu,um dann von ihrer ursprünglichen Verlaufsrichtung abweichend nahezu senkrecht an die Zementoberfläche heranzutreten.

Entkalkt man ein solches Präparat (Abb. 6),dann wird deutlich,daß die Desmodontalfasern weit in die Tiefe des Zementes hineinziehen und dort dessen organische Matrix bilden.
Kanäle,in denen die Fasern verlaufen würden,sind nicht vorhanden.Vielmehr ist das gesamte Zement mineralisiert, wodurch die Maskierung der einzelnen Fibrillen zustande kommt.

Den Verlauf und die Anordnung der Periodontalfasern in der Nähe des Alveolarknochens zeigen die Abbildungen 7 und 8.
Wiederum imponieren die zu mächtigen Bündeln zusammengelagerten längs- und quergetroffenen Fasern.
In der Abbildung 7 ist deutlich ein längsgeschnittenes Faserbündel dargestellt,das im Desmodont einen leicht gewundenen Verlauf aufweist,dann jedoch nahezu senkrecht bis tief in den Alveolarknochen hineinzieht.
Bei den in der Abbildung 8 dargestellten längsgetroffenen Faserbündeln ist die Querstreifung der einzelnen Fibrillen besonders deutlich zu erkennen.

Im Gegensatz zu der vom Zement her bekannten Situation- dort zogen fast alle Fasern nahezu parallel und senkrecht in das Zement hinein- inserieren die einzelnen Fasern im Alveolarknochen in unterschiedlichen Richtungen. Dadurch ist sehr auffällig die Knochenstruktur entsprechend der Richtung,in welcher die Fasern inserieren, geprägt (Abb. 9).
Die Querstreifung der Fibrillen bleibt auch hier abhängig vom Mineralisationsgrad erhalten.
Die Oberfläche des Alveolarknochens fällt im Vergleich zur verhältnismäßig glatten Zementoberfläche durch ihr mehr zackiges,unregelmäßiges Bild auf (Abb. 10).

Die Abbildung 11 soll als Beispiel für die patho-histologischen Veränderungen im ultrastrukturellen Gefüge des Desmodonts bei gesichertem klinischen Befund der Zahnlockerung (Lockerungsgrad 2) an einem periodontitisch veränderten unteren Frontzahn dienen.
Die einzelnen,im gesunden Desmodont zu Bündeln dicht zusammengelagerten Fibrillen liegen hier locker mit zum Teil großen Zwischenräumen nebeneinander.
Häufig sind an den Fibrillen lytische Erscheinungen zu beobachten,sodaß dadurch die Kontinuität des Gesamtbildes aufgehoben wird.

4.1. Abbildungen

Die Vergrößerung der einzelnen Aufnahmen geht aus den auf jeder Aufnahme eingezeichneten u-Strichen hervor.

Abb. 1 Desmodontalfaserbündel mit einzelnen Mineralisationsinseln in Zementnähe

Abb. 2 Desmodont mit einzelnen Fibrozyten

Abb. 3 Normales Faserzement
Kollagene Fibrillen durch Apatitkristalle maskiert

Abb. 4 Appositionszement mit untereinander verschlungenen Faserbündeln
Querstreifung teilweise erkennbar

Abb. 5 Zementoberfläche mit senkrecht inserierenden Fibrillenbündeln

Abb. 6 Entkalktes Zement mit der für die Fibrillen des Desmodonts typischen Querstreifung
Kollagene Fibrillen ziehen in Zement hinein und bilden organische Matrix

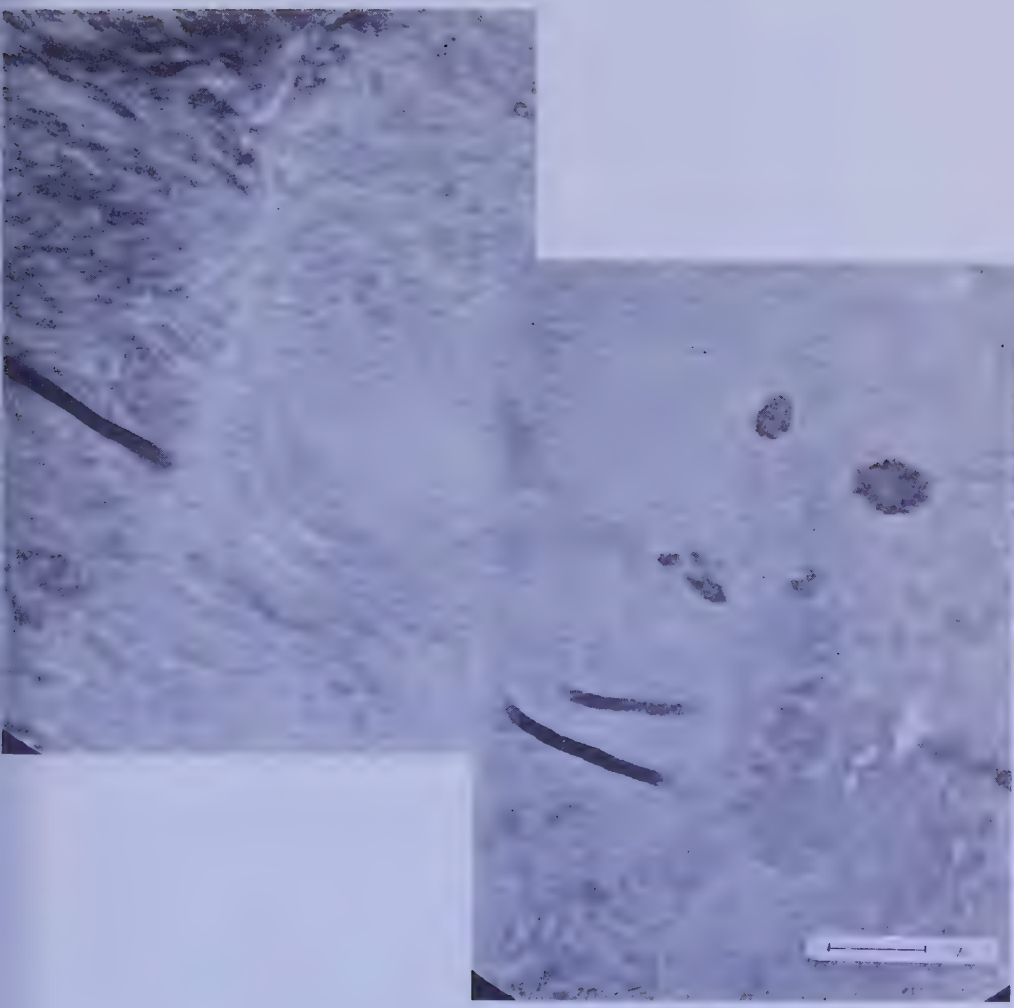
Abb. 7 Mächtiges längsgeschnittenes Fibrillenbündel mit Insertionsstelle im Alveolarknochen

Abb. 8 Grenze Alveolarknochen/Desmodont
Verschiedene längs- und quergetroffene Fibrillenbündel
Mineralisationsgrenze im Gegensatz zum Zement nicht glatt
Kollagene Fibrillen setzen sich im Knochen fort

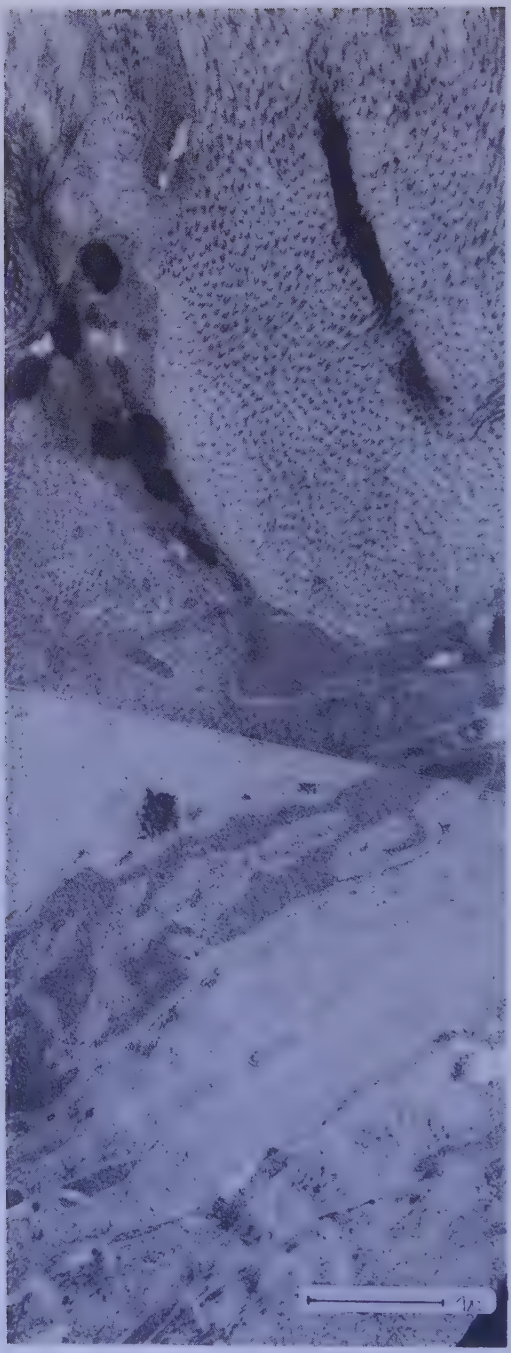
Abb. 9 Ultrastruktur des Alveolarknochens
Struktur geprägt durch die kollagenen Fibrillen mit Erhaltung der Querstreifung trotz Mineralisation

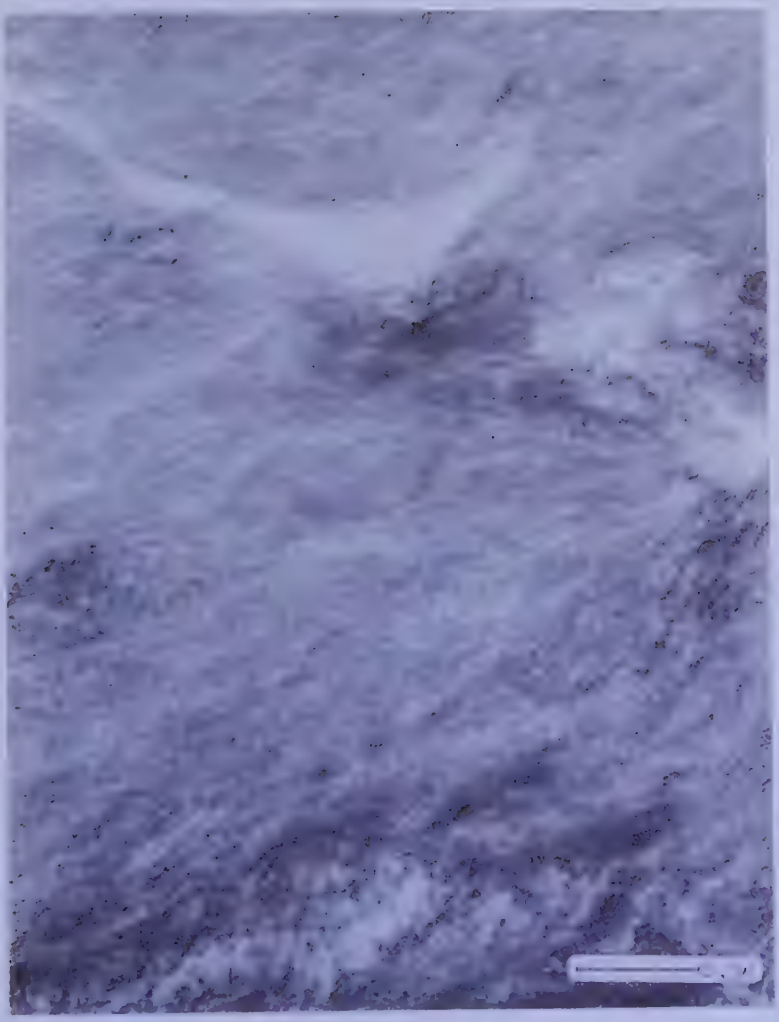
Abb.10 Grenze Desmodont/Alveolarknochen
Fortsetzung der kollagenen Fibrillen im Alveolarknochen

Abb.11 Pathologisch verändertes Desmodont mit Auflösungserscheinungen der Fibrillen bei klinisch gesicherter Zahnlockerung 2.Grades.

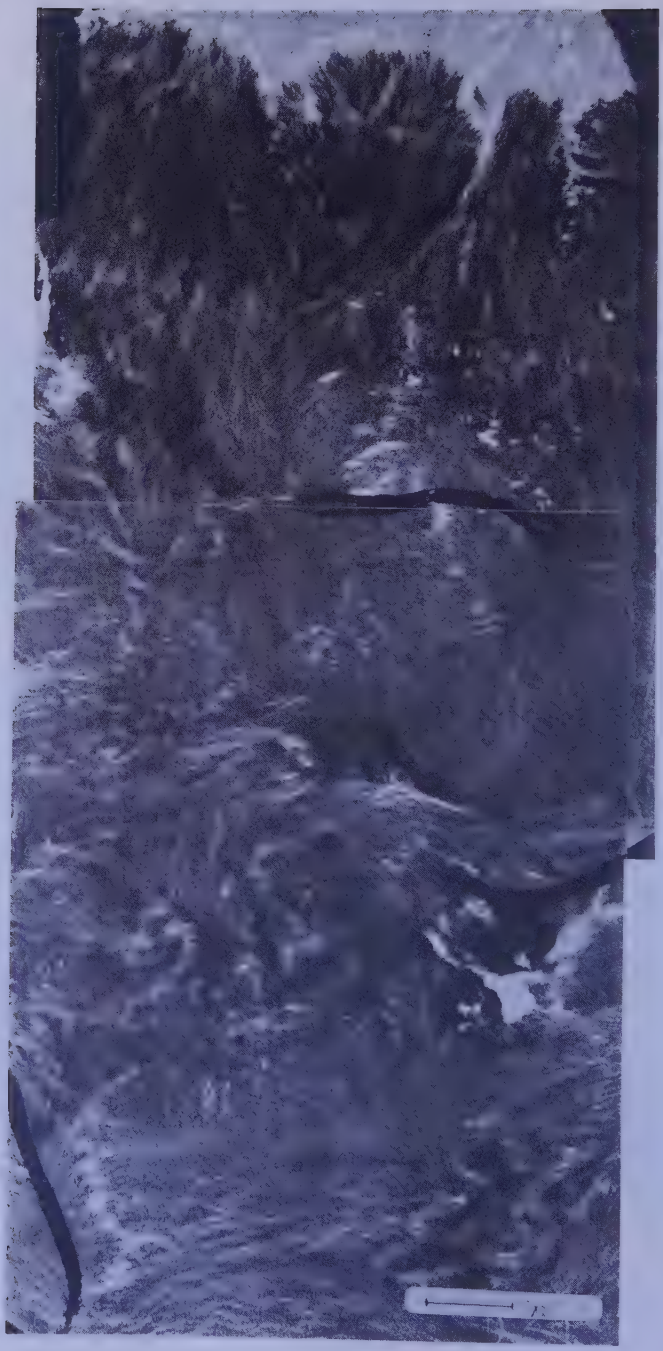


1

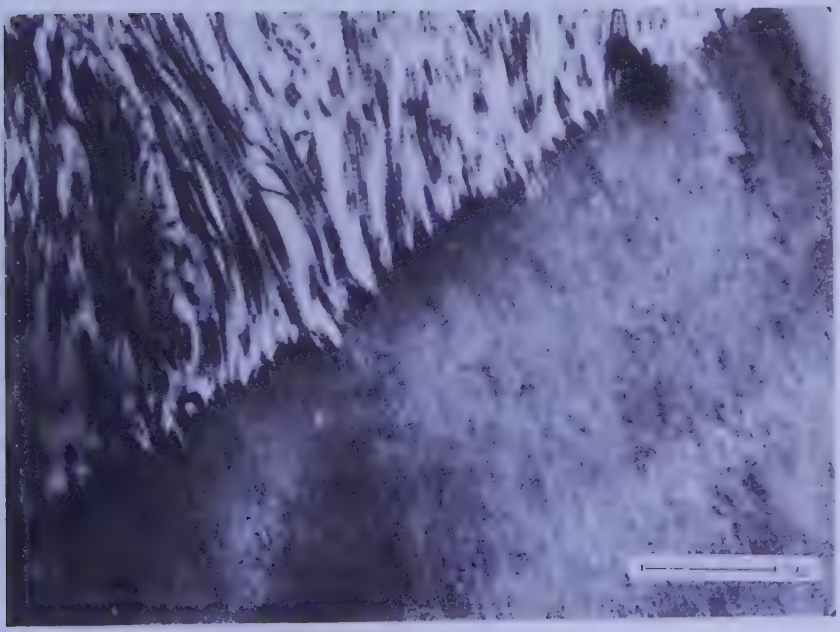




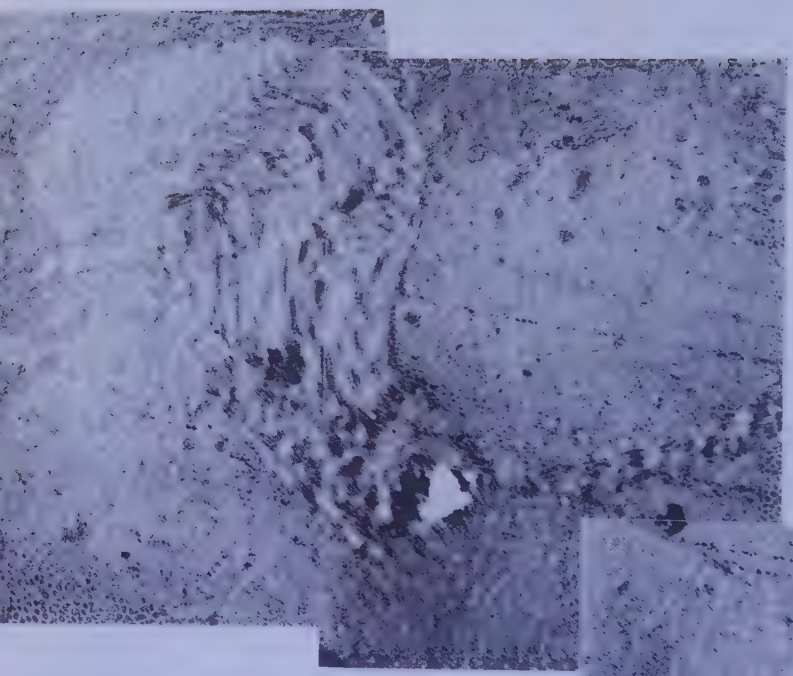
3

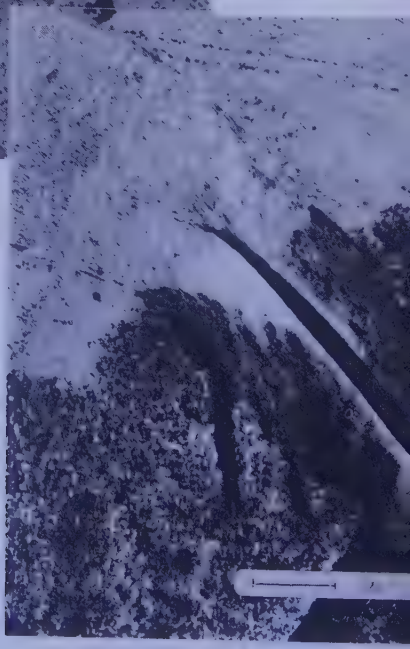


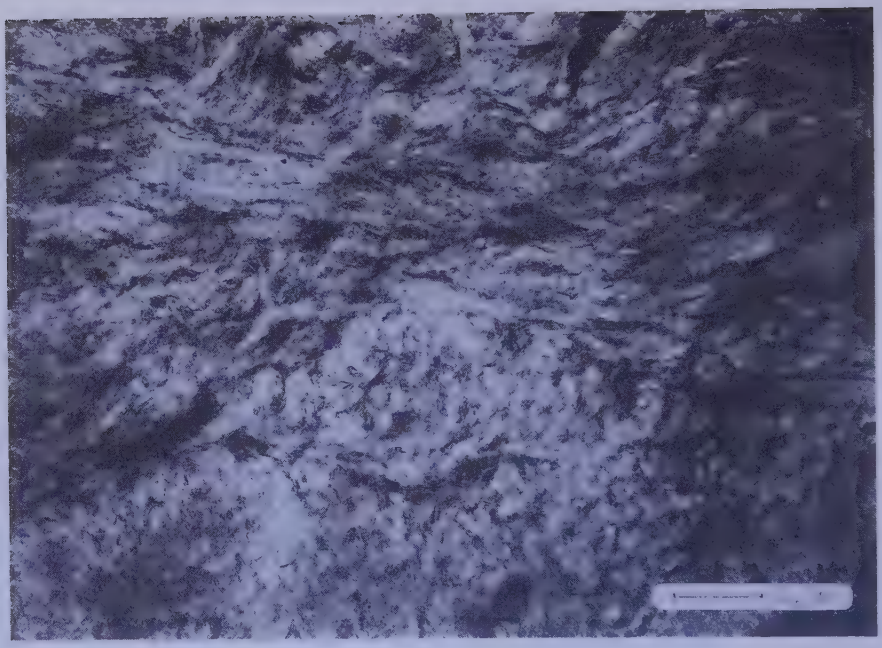
5



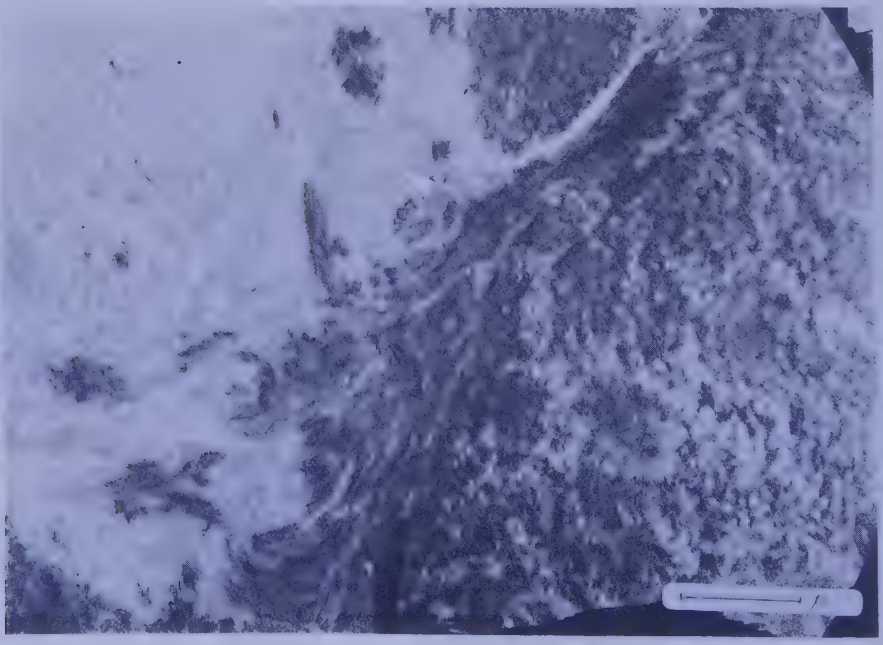
6







9



10

5. D I S K U S S I O N

Wie die Durchsicht der Literatur gezeigt hat, beruhen die Aussagen und Deutungen zum Themenkomplex P a r o d o n t i u m bis in die neueste Zeit hinein vorwiegend auf lichtmikroskopischen Untersuchungen. Die vorliegende Arbeit macht jedoch deutlich, daß die eigentlichen funktionellen Bauteile des Desmodonts im ultrastrukturellen Bereich liegen.
Dadurch wird es erforderlich, in einigen Punkten von den durch lichtoptische Betrachtungsweise geprägten Erkenntnissen abzurücken und ausgehend von den bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen gewonnenen Kenntnissen über die Ultrastrukturen die über lange Zeit gültigen Aussagen über die Struktur und die Funktionen des Desmodonts zu überdenken.

Andererseits bietet das Lichtmikroskop den unbestreitbaren Vorteil, bei einem so komplexen Gebilde wie dem Parodontium einen Überblick über die einzelnen Bestandteile und den grundsätzlichen Verlauf der Desmodontalfasern zu geben.
Erst die Berücksichtigung beider Aspekte ergibt ein Gesamtbild des Parodontiums.

Während lichtmikroskopisch nur die als verbindendes Element zwischen Zahn und Alveole beschriebenen und in der Literatur als Sharpey'sche Fasern bezeichneten Faserbündel erkennbar sind,wird bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen deutlich,daß jede einzelne Faser aus einer Vielzahl von feinsten,ca. 0,05 µ dicken Fibrillen besteht.
Sie weisen die für kollagenes Bindegewebe typische Querstreifung mit einer Periode von 640 Å auf.

Da die zu Bündeln zusammengelagerten Fibrillen nicht immer parallel nebeneinander verlaufen,sondern sich ihre Verlaufsrichtung häufig innerhalb weniger µ ändert,kommt dadurch eine tauartige Verflechtung zustande,die eine hohe Zugfestigkeit des einzelnen Fibrillenbündels zur Folge haben muß.

Infolge des welligen Verlaufes der Fibrillenbündel wiederum kann auch hier auf eine Verflechtung geschlossen werden,die die enorme Belastbarkeit des Desmodonts ausmacht.

Bei den in der lichtmikroskopischen Literatur immer wieder beschriebenen und auf Abbildungen gezeigten sog. Gefäß-Nerven-Lücken handelt es sich zumeist um zwei unterschiedliche Erscheinungen.
Zum einen werden von den zitierten Autoren verschieden geformte leere Räume von unterschiedlicher Ausdehnung,

in regelmäßigen Abständen innerhalb des Faserapparates gelegen,als Gefäß-Nerven-Lücken bezeichnet,auf anderen Abbildungen erkennen die Verfasser in den unregelmäßig verteilten und zahlreich vorhandenen Ansammlungen von großen Zellen und Kapillargefäßen eben diese Gefäß-Nerven-Lücken.

Das elektronenmikroskopische Bild macht deutlich,daß im Desmodont eine Vielzahl von Fibrozyten zwischen den sich überschneidenden und kreuzenden Fibrillenbündeln eingelagert ist.
Die Fibrozyten bilden mit ihren langen Ausläufern geradezu ein Netzwerk,sodaß die einzelnen Fibrillenbündel häufig von diesen Zellausläufern nahezu vollständig umgeben sind.

Diese Tatsache in Zusammenhang mit der Beobachtung,daß sich die am äußeren Rande eines Fibrillenbündels liegenden Fibrillen stärker anfärben,mag Anlaß gewesen sein für die häufig in der Literatur gemachte Aussage,die Fibrillenbündel seien von einer "Membran" umgeben bzw. zusammengehalten.

In unmittelbarer Nähe der Fibrozyten sind gelegentlich Gefäße und marklose Nerven vorhanden.
Diese Zusammenlagerungen von Gefäßen,Nerven und vor

allem zelligen Bestandteilen im Desmodont,die weit häufiger vorhanden sind,als das auf Grund des lichtmikroskopischen Bildes anzunehmen war,stellen die funktionelle Einheit zur Versorgung und Aufrechterhaltung des physiologischen Funktionszustandes der Desmodontalfibrillen dar.

Wäre es möglich,die Ultradünnschnitte aus einem solchen Bereich der Zusammenlagerungen von Gefäßen,Nerven und zelligen Bestandteilen aneinanderzureihen,ergäbe sich zweifelsohne das aus lichtmikroskopischen Übersichtsaufnahmen bekannte Bild der im Faserapparat eingebetteten Gefäße und Nerven in Gesellschaft von Zellen.
Der Begriff Gefäß-Nerven-L ü c k e führt jedoch wegen der damit verbundenen Vorstellung von "Leere" zu Fehlinterpretationen und sollte daher vermieden werden.

Die bei lichtmikroskopischen Präparaten oft zu beobachtenden und häufig beschriebenen leer erscheinenden kreisförmigen,strukturlosen Gebilde zwischen den Faserbündeln traten bei den hier durchgeführten Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop ebenfalls auf,müssen aber als Artefakte angesehen werden,die durch das Schneiden der Präparate oder durch unzureichende Fixierung des Untersuchungsmaterials hervorgerufen wurden.

Es wäre denkbar,daß das zur Fixierung der Präparate verwendete Glutaraldehyd auf Grund seiner etwas dickflüssigen Konsistenz den engen Periodontalspalt nicht weit genug zu durchdringen vermochte,wie das für eine ausreichende und dauerhafte Fixierung notwendig gewesen wäre.
Die in neuerer Zeit in solchen Fällen verwendete Perfusionsfixierung verspricht eventuell mehr Erfolg, jedoch ist für diese Untersuchungen die Verwendung von Sektionsmaterial notwendig.

Hinzu kommen noch die erheblichen Schwierigkeiten, die das Schneiden der Präparate mit dem Ultratom bereitete.
Da gleichzeitig Hartgewebe(Zahnzement bzw. Alveolarknochen) und Weichgewebe (Desmodont) geschnitten werden sollte,führte dieses vielfach wegen der unterschiedlichen Festigkeit des zu untersuchenden Materials zu erheblichen Faltenbildungen des Präparates,sodaß die entsprechenden Objektstellen einer genauen elektronenmikroskopischen Untersuchung nicht zu unterziehen waren.

Offensichtlich neigen die Ultradünnschnitte gerade an den Stellen besonders zur Faltenbildung,an denen es im Desmodont zu erheblichen Änderungen der Verlaufsrichtung der Fibrillenbündel wegen der Einlagerung

von Fibrozyten zusammen mit Nerven und Gefäßen kommt.
Bei anderen Präparaten wiederum kam es vorwiegend dort zu Zerreißungen des Gewebes,wo sich zelluläre Anteile im Desmodont fanden.
Es ist zu vermuten,daß die aus lichtmikroskopischen Untersuchungen bekannten Lücken im Desmodont auf ähnliche Weise zu Stande kamen und nur durch immer wiederholte Veröffentlichungen derselben Abbildungen bzw. Situationen zu der Bedeutung bis in die neueste Zeit hinein gelangten.
Daneben existieren jedoch auch Abbildungen,auf denen diese Lücken nicht vorhanden sind.

In einer größeren Anzahl von Präparaten wurden meist in enger Beziehung zu den Zusammenlagerungen von Nerven,Gefäßen und Fibrozyten "Mineralisationsinseln" in einer Größenordnung von ca. 1 µ und darunter gefunden.
Daß es sich bei diesen Erscheinungen nicht um Artefakte infolge der Nachkontrastierung mit Uranylacetat handelt, beweist die Tatsache,daß dieselben Teilchen auch in den nichtbehandelten Präparaten nachzuweisen waren.
Klar zu unterscheiden sind diese Mineralisationsinseln von der z.T. unregelmäßigen und teils weit in den Desmodontalspalt vorgeschobenen Mineralisationsfront am Alveolarknochen.

Auf Grund von lichtmikroskopischen Untersuchungen und damit in einer ganz anderen Größenordnung wurden von Euler 1940,1941 und Fischer 1972 bereits Kalkeinlagerungen,sog. "Zementikel",allerdings vorwiegend in Parodontien älterer Menschen beschrieben.
Es ist jedoch durchaus möglich,daß sich die hier gefundenen Mineralisationen zu den von Euler und Fischer beschriebenen Zementikeln weiterentwickeln können.
Wahrscheinlich sind sie als regressive Veränderungen innerhalb des Desmodonts zu werten.

"Das Zement dient der Verankerung der haltenden Faserbündel an der Dentinoberfläche der Wurzel."
(Meyer in Port-Euler,1951)

So und ähnlich wird in der Literatur das Zahnzement als Befestigungsmittel für die kollagenen Fibrillenbündel des Desmodonts dargestellt.
Diese mechanistische Betrachtungsweise resultiert aus den ursprünglichen Auffassungen über die Histogenese des Zahnhalteapparates,wie sie das Lichtmikroskop zeigt.
Danach treten die Fasern an die Oberfläche des Dentins heran und lassen sich dort durch die von den Zementoblasten ausgeschiedene Zementsubstanz ankleben(Meyer 1951).
Die Fasern selbst bleiben dabei unverkalkt.

Betrachtet man nun das elektronenmikroskopische Bild des Zementes,wird deutlich,daß auch hier ein Umdenken zu erfolgen hat.

Die im Desmodont erkennbaren Faserstrukturen strahlen in das Zement hinein und setzen sich fast parallel ausgerichtet bis in die tiefen Regionen des Zementes fort(Abb. 5).
Dabei sind die einzelnen Fibrillenbündel innerhalb des Zementes vollständig mineralisiert.
Anhand des Entkalkungspräparates (Abb. 6) von der Desmodont-Zementgrenze läßt sich eindeutig der ununterbrochene Verlauf der Fibrillen aus dem Desmodont bis tief in das Zement hinein nachweisen.

Die im lichtmikroskopischen Bild als Sharpey'sche Fasern bezeichneten Anteile des Zementes stellen also keine besonderen Bestandteile dar,sondern es handelt sich dabei um die vollständig mineralisierten,bündelartig und parallel angeordneten und etwa senkrecht zur Zementoberfläche eingestellten Desmodontalfasern.

Ähnliches,wie eben für das Faserzement beschrieben,gilt auch für das im apikalen Drittel gebildete Appositionszement(Abb. 4).

Eindrucksvoll zeigt die Abbildung die durch das Voranschreiten der Mineralisation gleichsam erstarrten, geschwungenen Desmodontalfasern.
Die Mineralisationsfront ist im Gegensatz zum normalen Faserzement von mehr ungleichmäßigem und zackigem Aussehen.
Welche Steuerungseinflüsse die Mineralisation nur bis zu einer bestimmten Grenze voranschreiten lassen, entzieht sich vorläufig noch unserer Kenntnis.

Die soeben für das Zement beschriebenen Verankerungsmechanismen gelten analog auch für die Verhältnisse am Alveolarknochen.
Die Desmodontalfasern sind hier genausowenig mit einer Kittsubstanz am Alveolarknochen befestigt,sondern ziehen weit in den Alveolarknochen hinein,um dort ebenfalls zu mineralisieren.

Da die Desmodontalfasern hier nicht in einer bestimmten Art und Weise ausgerichtet sind,so wie das im Faserzement der Fall war,ist das Bild des Alveolarknochens in diesem Bereich bestimmt entsprechend dem aus dem Desmodontalspalt beibehaltenen wellenförmigen Verlauf der Fibrillenbündel.
Im Vergleich zur glatten Oberfläche des Faserzementes ist die Mineralisationsgrenze des Alveolarknochens

gekennzeichnet durch einen sehr unregelmäßigen Verlauf.

Vergleicht man das elektronenmikroskopische Bild des Alveolarknochens mit dem des Appositionszementes,so sind so weitgehende Ähnlichkeiten festzustellen,daß eine Unterscheidung nur schwer vorgenommen werden kann.

Die rein morphologische Beschreibung der Strukturen des Zahnhalteapparates und insbesondere der unterschiedlichen Verlaufsrichtungen der Desmodontalfasern vervollständigen und bestätigen die Aussagen über die funktionelle Ausrichtung der Desmodontalfasern im Periodont,durch die alle aus unterschiedlichen Richtungen auf den Zahn auftreffenden Kräfte in Zugkräfte umgewandelt werden,um damit bei physiologischer Beanspruchung Schäden von dem in seiner Alveole befestigten Zahn abzuwenden.
Kommt es jedoch zu Fehl- und Überbelastungen in diesem funktionellen System "Parodontium",so wird dadurch eine Gegenregulation ausgelöst,in deren Gefolge es z.B. zur Bildung von Appositionszement an Stellen erhöhter Belastung kommt.

Alle diese an Hand von elektronenmikroskopischen Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse bestätigen in

eindrucksvoller Weise das unmittelbare funktionelle Zusammenwirken der den Zahnhalteapparat bildenden Strukturen Zement-Desmodont-Alveolarknochen,wie das schon von Weski erkannt und mit dem von ihm geprägten Begriff der "funktionellen Einheit" beschrieben wurde.

6. Z U S A M M E N F A S S U N G

Es wurden elektronenmikroskopische Untersuchungen an Zähnen durchgeführt,an denen bei der Extraktion ein Alveolarknochenteil haften geblieben war,mit dem Ziel, die ultrastrukturellen Bauelemente des Zahnhalteapparates darzustellen.

a. Der desmodontale Faserapparat besteht aus entsprechend den funktionellen Erfordernissen ausgerichteten kollagenen Fibrillen,die zu unterschiedlich mächtigen Bündeln zusammengefaßt sind.

b. Zwischen den Fibrillenbündeln sind,angepaßt an deren Verlaufsrichtung,in großer Zahl Fibrozyten mit ihren langgestreckten Ausläufern eingelagert.

c. In unmittelbarer Nähe der Fibrozyten finden sich Nerven und Gefäße.

d. Die Befestigung der Fibrillenbündel an den "Grenzflächen" erfolgt nicht durch eine Kittsubstanz an der Oberfläche von Zement bzw. Alveolarknochen. Die Fibrillen strahlen tief in die Hartsubstanzen hinein und sind vollständig mineralisiert,wobei ihre Querstreifung erhalten bleibt.

Dadurch wird das elektronenmikroskopische Bild von Zement und Alveolarknochen in entscheidender Weise geprägt.

e. Appositionszement,dessen elektronenmikroskopisches Bild weitgehende Übereinstimmung mit dem des Alveolarknochens zeigt,tritt an Stellen erhöhter Belastung auf.
Durch das Voranschreiten der Mineralisationsfront in den Desmodontalspalt hinein kommt es zur vollständigen Mineralisation der Desmodontalfasern unter Erhaltung des für den Verlauf und die Anordnung der Fibrillen typischen Bildes.

7. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

BOEDECKER,C.F.W. — Die Anatomie und Pathologie der Zähne 2.Ausgabe 1899 Verlag Wilhelm Braumüller

COTTA,H. DETTMER,N. — Ergebnisse der Bindegewebsforschung und ihre Bedeutung für Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates Archiv für orthopädische und Unfall-Chirurgie 52,217-246 (1960)

FISCHER,C.H. — Endodontie Verlag "Die Quintessenz" Berlin (1972)

FISCHER,C.H. HEYDEN,P. — Die Parodontopathien Berlinische Verlagsanstalt (1964)

FRÖHLICH,E. — Entwicklung und Morphologie der Weichgewebe des Parodontiums Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift Carl Hanser Verlag München 8.Jahrg.,221-240, (1958)

HARNDT,E. — Paradentitis und Paradentose Leitfaden der Zahnbetterkrankungen Carl Hanser Verlag München (1950)

HOFFMANN-AXTHELM,W. — Lexikon der Zahnmedizin Verlag "Die Quintessenz" Berlin (1974)

KAISER,E. STOCKINGER,L. — Morphologie und Biochemie des Bindegewebes Münchner Medizinische Wochenschrift 113. J.,Heft 10,S.321-332 (1971)

KRÄLING,B. Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Zähnen mit dem klinischen Bild einer Zementkaries Inaug. Diss. Berlin (1973)

MATHIS,H. Die sogenannte Parodontose Verlag Urban und Schwarzenberg Wien (1948)

MEYER,W. Lehrbuch der normalen Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen Carl Hanser Verlag München(1951)

MEYER,W. Anatomie in:Port-Euler Lehrbuch der Zahnheilkunde (6.Auflage) Verlag J.F.Bergmann München (1951)

MÜHLEMANN,H.R. Die physiologische und pathologische Zahnbeweglichkeit Schweizerische Monatszeitschrift für Zahnheilkunde 61. Band,Heft 1 (1951)

ORBAN,B.J. Parodontologie Verlag "die Quintessenz" Berlin (1965)

RITTER,W. Zahnentwicklung,Zahndurchbruch und Zahnfehlbildungen in:Praxis der Zahnheilkunde Verlag Urban und Schwarzenberg München/Berlin/Wien (1969)

SCHUMACHER,G.H. Der Zahn als Tastorgan Österreich. Zeitschrift für Stomatologie 68.J.,Heft 7,S. 250-257 (1971)

SCHUMACHER,G.H.
SCHMIDT,H.
Anatomie und Biochemie der Zähne
Gustav Fischer Verlag
Stuttgart (1972)

SCHWARZ,W.
Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Sehnenfibrillen verschiedener Wirbeltiere
Zeitschrift für Zellforschung
Band 48,S.309-323 (1958)

TELLER,C.
MERKER,H.J.
GÜNTHER,TH.
Über das Verhalten und die Lokalisation der alkalischen Phosphatase während der Skelettentwicklung bei Rattenföten
Histochemie 27,193-204 (1971)
Springer Verlag 1971

WALKHOFF,O.
Die normale Histologie menschlicher Zähne
Verlag Arthur Felix
Leipzig (1924)

WEDL,C.
Über Gefäßknäuel im Zahnperiost
Virchows Archiv für pathologische Anatomie
85.Jahrg.,S.175-177 (1881)

WEIDENREICH,F.
Über den Bau und die Entwicklung des Zahnbeins in der Reihe der Wirbeltiere
Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte
76.J.,S.218-260 (1925)

WEIDENREICH,F.
Über die Beziehungen zwischen Zahn,Alveolarwand und Kiefer
Zeitschr.für Anatomie und Entwicklungsgeschichte
Band 81,Heft 3/4,S.420-435 (1926)

WEIDENREICH,F.
Über Periodontium und Alveolarwand
Zeitschr.für Anatomie und Entwicklungsgeschichte
83.Band,S. 817 ff (1927)

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. Hans Lenz meinen besonderen Dank für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie für seine freundliche und unermüdliche Unterstützung im Verlaufe der Arbeit aussprechen.

Ebenso danke ich Frau Helga Adam und Frau Sigrun Schulz-Gerhardt für die Hilfe bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen und für die Durchführung der photographischen Arbeiten.

L E B E N S L A U F

Am 15. Januar 1947 wurde ich als Sohn des Arztes Dr. Georg Amlang und seiner Ehefrau Ruth,geb. Lehrke in Berlin geboren.

Von 1953 bis 1957 besuchte ich die 10.Grundschule in Berlin-Tiergarten und anschließend das humanistische Goethe-Gymnasium zu Berlin-Wilmersdorf,wo ich 1967 das Abitur ablegte.

Mit Beginn des Sommersemesters 1967 nahm ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Zahnheilkunde auf und bestand hier im September 1972 die zahnärztliche Prüfung.

Seit Oktober 1972 bin ich in verschiedenen zahnärztlichen Praxen als Assistenszahnarzt tätig.